

PREDIÇÃO DE MODELOS SOBRE A CINÉTICA DE SECAGEM DE CAFÉ VERDE NATURAL

FERNANDO BIZON DE ARAÚJO¹, PAULA DE ALMEIDA RIOS², EDNILTON TAVARES DE ANDRADE³, DANILO BARBOSA CARDOSO⁴, SAMUEL VIEIRA DE OLIVEIRA SILVA⁵, LUANA HAERBERLIN⁶

¹ Aluno de graduação em Engenharia Agrícola, UFLA, fernando_bizon@hotmail.com,

² Aluna do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFLA, paulariosagricola@gmail.com,

³ Professor Titular do Departamento de Engenharia Agrícola, UFLA, ednilton@deg.ufla.br,

⁴ Aluno do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFLA, cardosodb@gmail.com,

⁵ Aluno de graduação em Engenharia Agrícola, UFLA, samueloliveira991@gmail.com.

⁶ Aluna do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFLA, haerberlin.luana@hotmail.com

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: Este trabalho teve por objetivo ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais de secagem de frutos de café verde, em camada delgada, submetido a diferentes condições de temperatura de ar de secagem. Foram realizadas 3 colheitas de cafés (*Coffea arabica* L.) da variedade Topázio Amarelo, manual e seletivamente, no estádio de maturação verde com teor de água inicial de $2,286 \pm 0,1$ kg de água.kg de matéria seca⁻¹ (bs). Após o processamento via seca, o café de cada uma dessas colheitas foi submetido à um tratamento de secagem, resultante da combinação da temperatura do bulbo seco (Tbs) de 35 °C e temperatura de ponto de orvalho (Tpo) de 2,6; 10,8; 16,2 °C, em secador de camada fixa conjugado à um Sistema de Condicionamento de Ar de Laboratório (SCAL). Essas combinações de Tbs com Tpo resultaram em diferentes umidades relativas (UR) do ar de secagem, tais condições de secagem foram definidas a fim de representar o ambiente de secagem de diferentes regiões cafeeiras. Cada uma das 3 secagens foram encerradas quando o café atingiu teor de água de $0,124 \pm 0,5$ kg.kg⁻¹ (bs). Aos dados de razão de umidade experimentais foram ajustados 6 modelos matemáticos por análises de regressão não linear pelo método Gauss-Newton. O modelo de Midilli foi o que representou mais satisfatoriamente a cinética de secagem.

PALAVRAS-CHAVE: *Coffea arabica* L., modelagem, cinética de secagem.

PREDICTION OF MODELS ON DRY KINETICS OF NATURAL GREEN COFFEE

ABSTRACT: Abstract: The objective of this work was to adjust mathematical models to the experimental data of drying of fruits of green coffee, in thin layer, subjected to different drying air temperature conditions. Three coffee harvests were carried out (*Coffea arabica* L.) of the Yellow Topázio variety, manually and selectively in the maturation stage green with initial water content of 2.286 ± 0.1 kg.kg⁻¹ dry base (db). After the dry processing, the coffee from each of these harvests was subjected to a drying treatment, resulting from the combination of the dry bulb temperature of 35 °C and dew point temperature of 2.6, 10.8, 16.2 °C, in a fixed layer dryer conjugated to a Laboratory Air Conditioning System (SCAL). These combinations of Tbs with Tpo resulted in different relative humidity (RH) of the drying air, such drying conditions were defined in order to represent the drying environment of

different coffee regions. Each of the 3 dryings were completed when the coffee reached water content of $0.124 \pm 0.5 \text{ kg.kg}^{-1}$ (db). To the experimental moisture ratio data, 6 mathematical models were adjusted by non-linear regression analysis using the Gauss-Newton method. The Midilli model represented the most satisfactory drying kinetics.

KEYWORDS: *Coffea arabica* L., modeling, kinetics of drying.

INTRODUÇÃO: A cadeia produtiva do café é extremamente complexa, com múltiplas operações desde a lavoura até a xícara. Nesse processo a etapas de pós-colheita, especialmente a secagem, tem grande responsabilidade no resultado da qualidade de bebida. Dentre as peculiaridades do café, observa-se relevante desuniformidade de maturação e o alto teor de água no momento de colheita (BORÉM; REINATO; ANDRADE, 2008). Assim, a secagem irá proporcionar a conservação dos grãos, permitindo o armazenamento seguro, sem que haja ataque por microrganismos, fermentações indesejadas e geração de defeitos advindos de secagem inadequada (CHRISTENSEN; KAUFMANN, 1974). Recomenda-se iniciar a colheita do café em média com no máximo 30% de verde (BORÉM, 2008). Em larga escala, a quantidade de café verde colhido é significativa, requerendo manejo diferenciado, principalmente durante a secagem, de modo a minimizar a geração de defeitos. A modelagem matemática é uma ferramenta que possibilita a predição do comportamento de diversos produtos agrícolas durante a secagem, em que considera-se os parâmetros: temperatura, velocidade e umidade relativa do ar de secagem e características do produto a ser estudado (ARAUJO et al., 2017; BOTELHO et al., 2015). Assim, o trabalho teve por objetivo a busca dos modelos matemáticos que mais se adequam aos dados experimentais da secagem do café natural verde na combinações de temperatura do ar de secagem de bulbo seco (Tbs) de $35 \text{ }^\circ\text{C}$, temperatura máxima recomendada para secagem de cafés verdes (Borém, 2008), com as temperaturas de ponto de orvalho (Tpo) de 2,6; 10,8 e $16,2 \text{ }^\circ\text{C}$.

MATERIAL E MÉTODOS: O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas (LPPA) pertencente a Universidade Federal de Lavras. Foram colhidos manual e seletivamente frutos de café (*Coffea arabica* L. cv. Topázio Amarelo) da Fazenda Faria, localizada no município de Lavras-MG. As etapas de processamento, secagem e análises, foram conduzidas no LPPA. O experimento teve como foco a análise da secagem, onde foram realizados 3 tratamentos, resultantes da combinação de 1 temperaturas de bulbo seco (Tbs) de $35 \text{ }^\circ\text{C}$ com 3 temperaturas de ponto de orvalho (Tpo) do ar de secagem: 2,6; 10,8; $16,2 \text{ }^\circ\text{C}$. Para elaboração das curvas de cinética de secagem, fez-se o monitoramento da perda de água dos frutos de café verde pelo método gravimétrico. Os grãos de café verde foram colocados no secador com teor de água inicial de $2,106 \pm 0,05 \text{ kg.kg}^{-1}$ (bs) até atingirem teor de água de $0,124 \pm 0,05 \text{ kg.kg}^{-1}$ (bs). A cada tempo da secagem experimental, conhece-se a razão de umidade, correlacionando o teor de água do produto no tempo ao teor de água de equilíbrio e teor de água inicial, para condições específicas que ocorrem a secagem. As curvas experimentais de razão de umidade geradas nos diferentes tratamentos foram ajustadas aos modelos matemáticos da Tabela 1. Foi realizada análise de regressão não linear, pelo método Gauss-Newton, utilizando-se do programa *Statistica 5.0*® para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais de secagem. Com o objetivo de determinar o grau de ajuste para cada temperatura de secagem considerou-se a significância dos coeficientes de regressão pelo teste t a 5% de significância, os valores do coeficiente de determinação (R^2), o erro médio relativo (P), o erro médio estimado (SE) e o teste do qui-quadrado (χ^2).

Tabela 1. Modelos matemáticos aplicados nas curvas de secagem experimental.

Modelo	Designação do modelo	Equação
Midilli	$RU = a \exp(-kt^n) + bt$	(1)
Newton	$RU = \exp(-kt)$	(2)
Page	$RU = \exp(-kt^n)$	(3)
Thompson	$RU = \exp\{-[a - (-a^2 + 4bt)^{0,5}](2b)^{-1}\}$	(4)
Verma	$RU = -a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-k_1 t)$	(5)
Valcam	$RU = a + bt + ct^{1,5} + dt^2$	(6)

em que, RU: razão de umidade (adimensional); t: tempo de secagem (h); k, k_0 e k_1 : constantes de secagem; a, b, c, d, n: coeficientes dos modelos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na figura 1A são apresentadas as curvas de secagem do café verde natural com os dados experimentais e estimados pelo modelo de Midilli da razão de umidade em função do tempo (horas). Nesta figura estão representados as curvas de cinética de secagem para Tbs de 35 °C e Tpo de 2,6; 10,8; 16,2 °C. Confirmou-se ajuste satisfatório, observando-se a correspondência entre os valores experimentais e estimados pelo modelo de Midilli na descrição da cinética de secagem, tal como é demonstrado nas Figuras 1A.

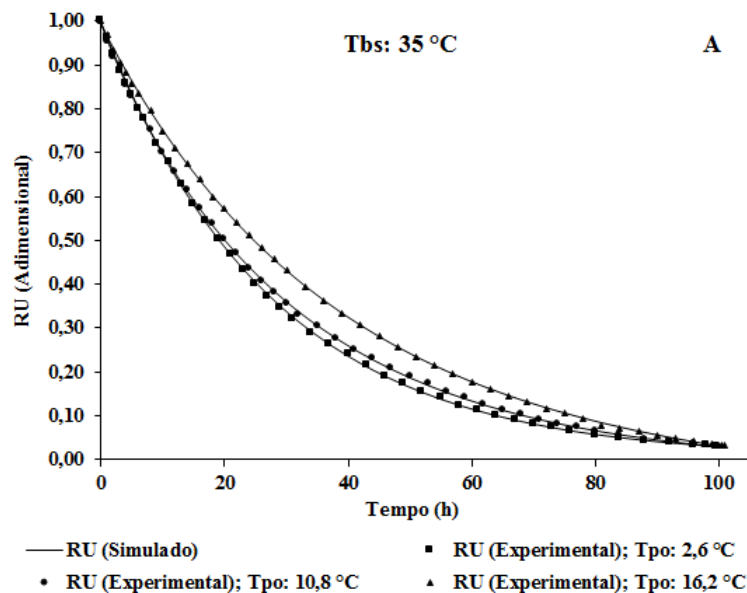


Figura 1. Cinética de secagem do café verde com valores de razão de umidade dos dados experimentais e simulados pelo modelo de Midilli na Tbs de 35 °C e Tpo de 2,6; 10,8 e 16,2 °C.

Na Tabela 2 são mostrados os parâmetros estatísticos, com os valores de coeficiente de determinação (R^2), desvio padrão da estimativa (SE) e erro médio relativo (P), resultantes do ajuste dos modelos matemáticos por regressão não linear aos dados experimentais de cinética de secagem em camada fina dos 3 tratamentos analisados.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos resultantes do ajuste matemático de cada modelo para descrever a cinética de secagem dos frutos de café verde.

Modelos	Parâmetros Estatísticos	35 °C		
		2,6 °C	10,8 °C	16,2 °C
Midilli	R^2	99,991	99,992	99,992

	P	0,842	1,362	1,153
	SE	0,011	0,019	0,023
Newton	R²	99,987	99,942	99,865
	P	1,634	2,607	9,303
	SE	0,026	0,036	0,189
Page	R²	99,989	99,976	99,897
	P	1,053	3,602	7,003
	SE	0,016	0,071	0,141
Thompson	R²	99,989	99,959	99,948
	P	0,946	3,971	3,680
	SE	0,012	0,077	0,069
Verma	R²	99,990	99,980	99,988
	P	1,319	2,548	1,526
	SE	0,021	0,045	0,029
Valcam	R²	99,975	99,987	99,994
	P	1,669	1,229	0,719
	SE	0,023	0,016	0,010

Para escolha dos modelos mais adequados ao ajuste da cinética de secagem é importante seguir algumas diretrizes. De acordo com Kashani-nejad et al. (2007) os valores de erro médio demonstram o quanto há de desvio dos valores experimentais comparados à curva estimada pelo modelo, de modo que os valores de P maiores que 10% não representam satisfatoriamente os dados experimentais de secagem (MOHAPATRA; RAO, 2005). Os mesmos autores dizem que para que haja ajuste satisfatório do modelo aos dados experimentais é necessário que o coeficiente de determinação seja superior à 90%. Todas as condições de secagem se adequaram aos critérios descritos. Dentre os modelos que obtiveram os maiores valores de R² e menores de P e SE (Midilli e Valcam), foi selecionado o modelo de Midilli, que demonstra simples aplicação e é constantemente recomendado para predição de fenômenos de secagem de produtos agrícolas.

CONCLUSÕES: O modelo de Midilli apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais para todas as combinações de secagem do café verde natural, 1 Tbs 35 °C versus 3 Tpo (2,6; 10,8; 16,2 °C).

REFERÊNCIAS:

- ARAUJO, W. D. et al. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. **Revista de Ciências Agrônômicas**, Fortaleza, v. 48, n. 3, p. 448-457, 2017.
- BORÉM, F. M. Processamento do café. In: _____. Pós-colheita do café. Lavras: UFLA, 2008. p. 127-158.
- BORÉM, F. M.; REINATO, C. H. R.; ANDRADE, E. T. Secagem do café. In: BORÉM, F. M. (Ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. p. 205-240.
- BOTELHO, F. M. et al. Cinética de secagem e determinação do coeficiente de difusão efetivo de grãos de sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 14, n. 2, p. 260-272, 2015.
- CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. H. Microflora. In: CHRISTENSEN, C. M. **Storage of cereal grain and their products**. St. Paul, MN: American Association of Cereals Chemists, 1974. p. 158-192.
- KASHANINEJAD, M. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 98-108, 2007.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 387-394, 2008.